عوامل تأثیرگذار در ایجاد پینچ و میزان جذب انرژی اتصال خمشی براکت پیچ‌شده‌ی کایزر★

فرهاد شهیدی امام جمعه(۱) فریبرز ناطقی الهی(۲) مهران سید رزاقی(۳) فرهود شهیدی امام جمعه(٤)

چکیده *پس از زلزله‌ی ۱۹۹٤ نورثریج کالیفرنیا تعداد قابل‌ملاحظه‌ای از ساختمان‌های فولادی با اتصالات خمشی خسارت دیدند. بعد از این واقعه تحقیقات زیادی برای بهبود عملکرد لرزه‌ای اتصالات خمشی صورت گرفت. اتصال خمشی براکت پیچ‌شده‌ی کایزر، یکی از اتصالات مطرح برای قاب خمشی ویژه در آیین‌نامه‌ی AISC-358 است، که به‌طور اختصار KBB خوانده می شود. این اتصال به‌صورت ریخته‌گری تولید می‌گردد. در این تحقیق رفتار اتصال خمشی KBB تحت بارگذاری‌های چرخه‌ای استاندارد و نزدیک گسل مطرح شده در آیین نامه‌های ATC و FEMA مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که این اتصال از عملکرد لرزه‌ای مناسبی برخوردار است ولی در تیرهای عمیق به‌علت سختی بالای براکت و ارتفاع زیاد آن، نیروی اهرمی زیادی در پیچ های ردیف بالای براکت تولید می‌گردد. این موضوع و هم‌چنین استفاده از واشر انگشتی گوه‌ای سبب کاهش نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های ردیف بالای براکت‌ها و ایجاد Pinch در نمودار هیسترزیس آن شده است.*

واژه‌های کلیدی بارگذاری چرخه‌ای استاندارد، بارگذاری چرخه‌ای نزدیک گسل، اتصال براکت پیچ‌شده‌ی کایزر (KBB)، Pinch.

Influential Factors in Pinch Effect and Energy Dissipation of the Kaiser Bolted Bracket Moment Connection

F.Shahidi F.Nateghi Allahi M.S.Razzaghi F.Shahidi

Abstract *In the aftermath of the 1994 Northridge, California, earthquake. A significant number of steel moment resisting structural systems were damaged. Many studies and researches have been conducted to improve the seismic performance of structures after the catastrophe. One of the proposed connections for special moment-resisting frames included AISC-358 is Kaiser bolted bracket moment connection, briefly named, KBB, this brackets produced as high steel cast. In this study, the seismic behavior of moment connection, KBB is examined under standard loading history and near-fault loading history according to ATC and FEMA codes. The results show that the connection has suitable seismic performance. But in beams with high depth due to the bracket rigidity, there is high lever force in top row bolts. Moreover use of Finger shims with variable thickness, reduce pre-tensioned force in bolts and increase pinch in hysteresis curve specimens.*

Key Words Standard loading history, Near-Fault loading history, Kaiser bolted bracket connection (KBB), Pinch.

★ تاریخ دریافت مقاله ۹۱/۵/۲۸ و تاریخ پذیرش آن ۹۳/۵/۱۹ می‌باشد.

(۱) نویسنده‌ی مسئول، دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین.

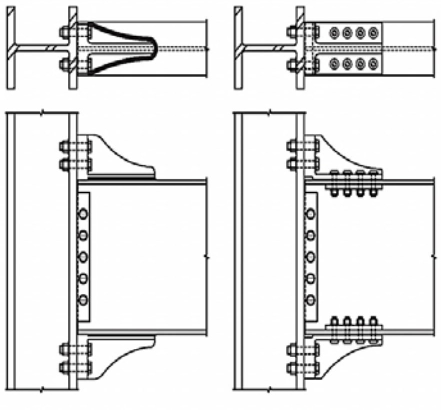
(۲) استاد، پژوهشگاه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

(۳) استادیار، دانشکده‌ی عمران و نقشه برداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین.

(٤) دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان.

مقدمه

پس از زلزله‌ی ۱۹۹٤ نورثریج کالیفرنیا که سبب آسیب دیدن تعداد قابل‌ملاحظه‌ای از ساختمان‌های فولادی با اتصالات خمشی گردید، توجه بیشتری به قابلیت اعتماد در فرآیند طراحی سازه‌های فولادی گردید [1]. آسیب‌های گسترده در اتصالات خمشی عموماً در اتصالات خمشی قوی که ظرفیت دوران پلاستیک آن‌ها کمتر از ظرفیت دوران پلاستیک اعضای قاب بود، مشاهده گردید. گسیختگی‌ها غالباً شامل شکستگی‌های غیر شکل‌پذیر جوش شیاری با نفوذ کامل (CJP) بال تیر به بال ستون و ترک‌هایی در بال تیر و مقطع میانی ستون بوده است [1]. بعد از زلزله تحقیقات هدفدار زیادی در خصوص رفتار اتصالات خمشی با گیرداری کامل صورت پذیرفت. حذف جوش گوشه کارگاهی می‌توانست علاوه بر بهبود عملکرد اتصالات سبب کاهش هزینه‌های وابسته به نظارت و اجرا گردد [1]. اتصال براکت پیچ‌شده اولین بار در دانشگاه «Lehigh» مطرح گردید. این طرح از ایده‌ی نشیمن تقویت‌شده الهام گرفته بود و بعداً به‌منظور افزایش کیفیت و عملکرد اتصال، جوش‌کاری از براکت حذف گردید و آن‌را به‌صورت فولاد ریخته‌گری شده با مقاومت بالا تولید نمودند [1]. در آیین‌نامه‌ی AISC این اتصال به‌عنوان اتصالی مناسب برای قاب خمشی ویژه تحت عنوان «اتصال خمشی براکت پیچ‌شده‌ی کایزر» معرفی گردیده است [2]. این اتصال به‌منظور حذف جوش گوشه کارگاهی و افزایش کیفیت ساخت و سهولت در اجرا توسعه یافت [2]. این اتصال به دو رده‌ی کلی سری W و سری B تقسیم می‌شود [2]. هر دو سری اتصال از طریق پیچ‌های پرمقاومت به بال ستون پیچ می‌گردند. اتصال براکت سری W به بال تیر، از طریق جوش کارخانه‌ای میسر می‌گردد [2]. هم‌چنین اتصال براکت سری B به بال تیر، از طریق پیچ‌های پرمقاوت صورت می‌گیرد [2]. شکل (۱) هر دو سری از اتصال خمشی کایزر را نشان می‌دهد.



شکل ۱ شمایی از اتصال براکت پیچ‌شده‌ی کایزر [1]

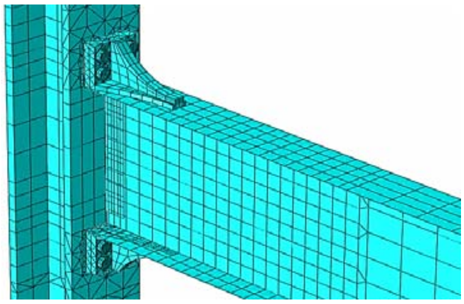
هدف و مراحل انجام تحقیق

هدف از این تحقیق، بررسی عملکرد لرزه‌ای این اتصال به‌خصوص در حوزه‌ی نزدیک گسل و هم‌چنین ارائه‌ی راهکاری به‌منظور افزایش توانایی این اتصال در جذب انرژی برای تیرهای عمیق و کاهش اثر Pinch در نمودار هیسترزیس این اتصال می‌باشد. به‌منظور مدل‌سازی عددی این اتصال از نرم‌افزار اجزای محدود ABAQUS استفاده گردیده است. برای مدل‌سازی عددی و صحت سنجی آن با نتایج آزمایشگاهی، دو مدل مرجع ایجاد گردید. هر دو مدل با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شدند. هریک از مدل‌های مرجع متعلق به یک گروه با ده نمونه می‌باشند. کل این مجموعه که جمعا، شامل ۲۰ مدل می‌باشد، فرآیند بررسی را تشکیل داده است.

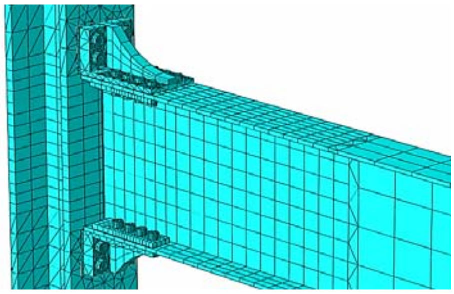
مدل‌سازی عددی و صحت‌سنجی

به‌منظور مدل‌سازی عددی و صحت‌سنجی دو مدل مرجع، یک مدل مربوط به اتصال KBB سری W و یک مدل مربوط به اتصال KBB سری B انتخاب گردید. هر دو مدل با نتایج آزمایشگاهی که توسط Scott M. Adan and William Gibb [1,3] انجام گرفته بود مقایسه گردید. نرم‌افزار اجزای محدود ABAQUS در مدل‌سازی‌های عددی به‌کار برده شد. در مدل‌های عددی سری W برای مش‌بندی اجزاء محدود تیر و نوار برشگیر جان از المان Shell چهار

گرهی S4R و برای سایر اعضا از المان Solid هشت گرهی، C3D8R استفاده گردید [4]. در مدل سری B برای مش‌بندی اجزای محدود تمامی اعضا از المان Solid هشت گرهی C3D8R استفاده شد [4]. شکل (۲) نحوه‌ی مش‌بندی و مدل‌سازی عددی اتصالات مذکور را نشان می‌دهد.



(الف) مدل اجزای محدود اتصال کایزر سری W



(ب) مدل اجزای محدود اتصال کایزر سری B

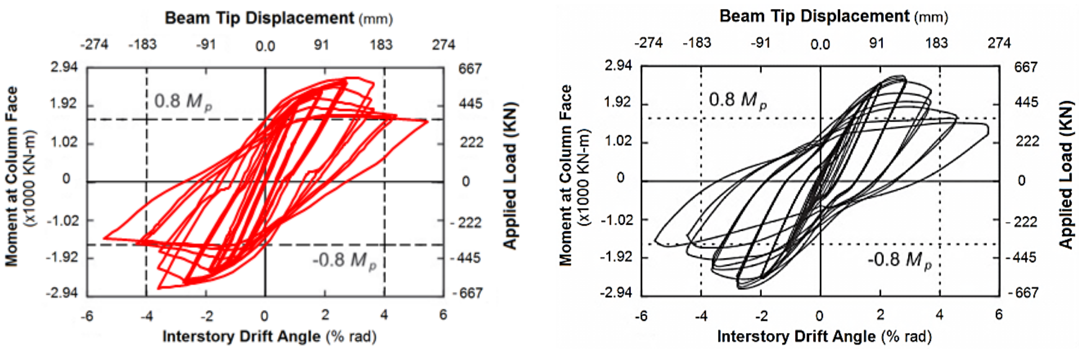
شکل ۲ مدل‌های اجزای محدود ساخته شده برای صحت‌سنجی با نتایج آزمایشگاهی

برای در نظر گرفتن اثر جوش براکت سری W به بال تیر از قید Tie استفاده شد [4]. هم‌چنین در مدل سری B و برای اتصال براکت به بال تیر به‌وسیله‌ی پیچ در تمامی محل‌هایی که براکت با بال تیر و ورق واشر در تماس بوده است از گزینه‌ی اندرکنشی Contact استفاده شده است. در هر دو نمونه برای اتصال براکت به ستون از طریق پیچ، از گزینه‌ی اندرکنشی Contact استفاده گردیده است. در گزینه‌ی اندرکنشی Contact اجازه‌ی جدا شدن سطوح بعد از برخورد داده شده است [4] و ضریب اصطکاک کولمب برای در نظر گرفتن اثر اصطکاک بین سطوح فلزی کلاس A، 0.3 در نظر گرفته شده است [5] و به‌منظور تطابق کامل مدل عددی با مدل آزمایشگاهی ورق‌های واشر انگشتی در محل اتصال براکت با بال ستون نیز مدل گردیده‌اند. برای در نظر گرفتن اثر پیش‌تنیدگی پیچ‌ها دو گام تعریف شده است؛ در گام اول پیچ‌ها پیش‌تنیده گردیده و در گام دوم علاوه بر حفظ پیش‌تنیدگی، تغییرمکان چرخه‌ای مطابق ضوابط آیین‌نامه‌ی ATC-24 و آیین‌نامه‌ی FEMA-355D به‌نمونه‌ها اثر داده شده است [6,7]. مصالح به‌کار رفته برای مدل‌سازی مطابق جدول (۱) و براساس مشخصات آزمایشگاهی نمونه‌ها می‌باشد.

همان‌طور که در شکل‌های (۳، ٤) مشاهده می‌گردد، تطابق خوبی بین نمودارهای هیسترزیس انتهای تیر نمونه‌های عددی با مدل آزمایشگاهی در هر دو نمونه وجود دارد و هم‌چنین در شکل (۵) تغییر شکل نمونه‌ی عددی در محل تشکیل مفصل پلاستیک کاملاً منطبق بر تغییر شکل واقعی آن در مدل آزمایشگاهی می‌باشد.

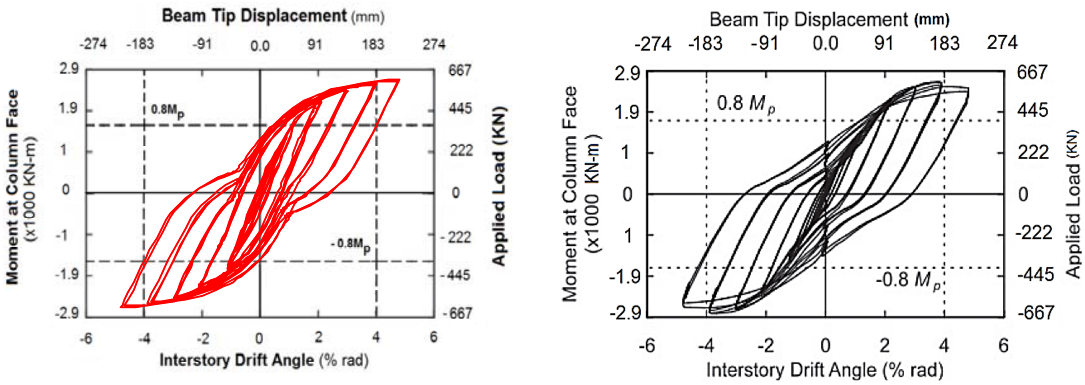
جدول ۱ مشخصات مصالح به‌کار رفته در مدل‌های اجزای محدود، برگرفته از نتایج آزمایشگاهی

نوع مصالح	کاربرد	تنش تسلیم (MPa)	تنش نهایی (MPa)	کرنش نهایی
ASTM A36	واشر انگشتی گوه‌ای	250	450	0.20
ASTM A572 Gr50	تیر، نوار برشگیر جان تیر	366	462	0.25
ASTM A572 Gr50	ستون	321	453	0.25
ASTM A148 Gr80/50	براکت	510	710	0.22
A490	پیچ	900	1050	0.20



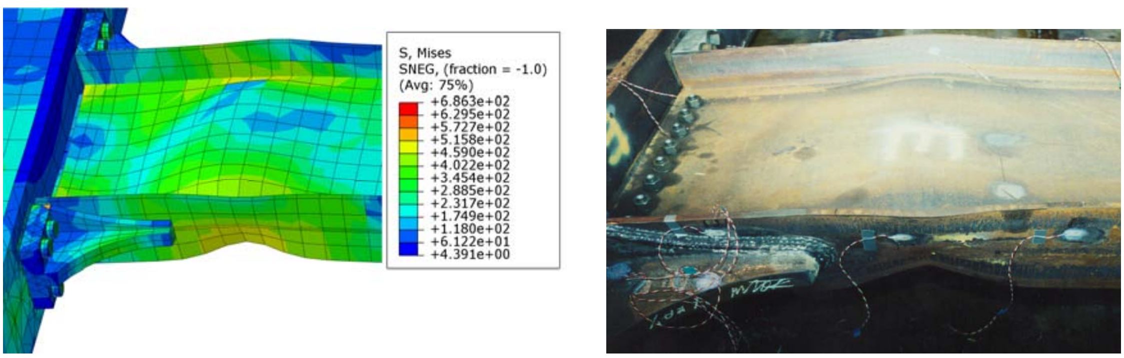
(الف) منحنی هیسترزیس انتهای تیر، مدل آزمایشگاهی، نمونه HH-8 [1,2]
(ب) منحنی هیسترزیس انتهای تیر، مدل عددی، نمونه HH-8

شکل ۳ منحنی‌های هیسترزیس انتهای تیر مدل‌های آزمایشگاهی و عددی برای اتصال سری W



(الف) منحنی هیسترزیس انتهای تیر، مدل آزمایشگاهی، نمونه HH-6 [1]
(ب) منحنی هیسترزیس انتهای تیر، مدل عددی، نمونه HH-6

شکل ٤ منحنی‌های هیسترزیس انتهای تیر مدل‌های آزمایشگاهی و عددی برای اتصال سری B



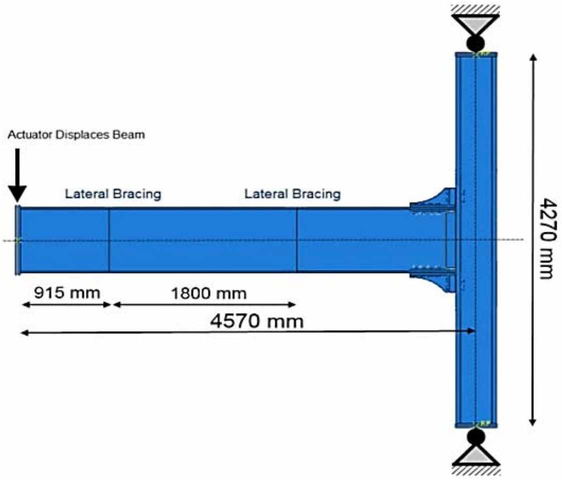
(الف) تغییر شکل نمونه آزمایشگاهی HH-8 در انتهای بارگذاری [1,2]
(ب) تغییر شکل نمونه عددی HH-8 در انتهای بارگذاری

شکل ٥ تغییر شکل نمونه‌های آزمایشگاهی و عددی در گام آخر بارگذاری

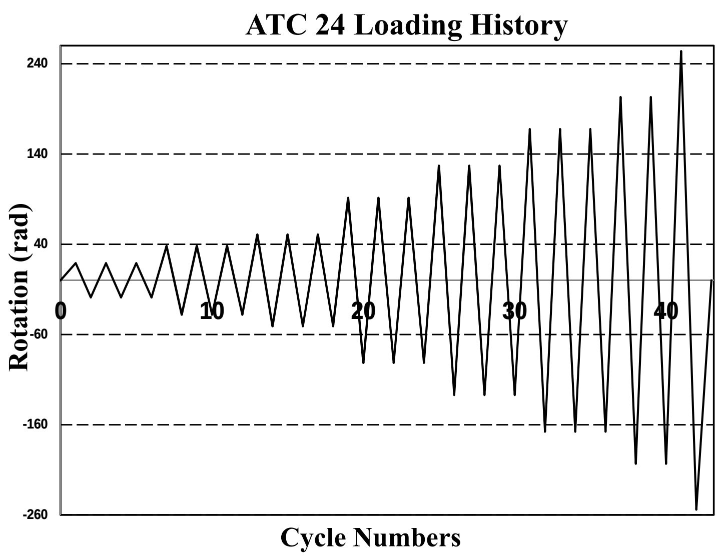
شرایط مرزی و بارگذاری

شرایط مرزی مجموعه‌ی آزمایش شامل شرایط تکیه‌گاهی دو انتهای ستون و محل قرارگیری مهارهای جانبی تیر در شکل (٦) نشان داده شده است.

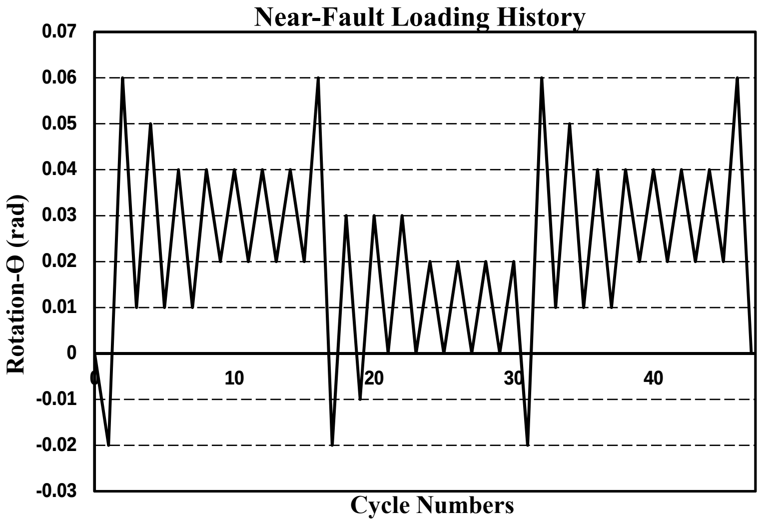
به‌منظور بررسی عملکرد لرزه‌ای اتصال از بارگذاری استاندارد چرخه‌ای آیین‌نامه‌ی ATC-24 استفاده شده است [6]. هم‌چنین برای بررسی عملکرد لرزه‌ای اتصال در منطقه‌ی نزدیک گسل از بارگذاری نزدیک گسل FEMA-355D استفاده گردیده است [7]. شکل (٧) و شکل (٨) نمودار بارگذاری استاندارد آیین‌نامه‌ی ATC-24 و بارگذاری نزدیک گسل FEMA-355D را که به‌صورت تغییر مکان در انتهای تیر اعمال شده است نشان می‌دهد.



شکل ٦ طول تیر و ستون و شرایط تکیه‌گاهی و موقعیت مهارهای جانبی در نظر گرفته شده برای مجموعه مورد بررسی



شکل ٧ بارگذاری چرخه‌ای استاندارد، مورد استفاده در مدل آزمایشگاهی و عددی



شکل ۸ بارگذاری چرخه‌ای نزدیک گسل، مورد استفاده در مدل عددی

جدول ۲ خلاصه‌ای از مشخصات نمونه‌های مرجع

ضخامت واشر انگشتی (mm)	اندازه‌ی پیچ تیر	اندازه‌ی پیچ ستون	براکت	تیر	ستون	نوع مدل
3.2-1.6	-	1-1/2" (~M36)	W2.1	W30x108	W14x233	مدل مرجع ۱
3.2-1.6	1-1/8" (~M30)	1-1/2" (~M36)	B2.1	W30x108	W14x233	مدل مرجع ۲

بررسی نمونه‌های عددی

مدل‌های مرجع، مدل‌هایی هستند که برای صحت‌سنجی از آن‌ها استفاده گردیده است. هر مدل مرجع خود شامل ده زیر مدل می‌باشد. در این زیر مدل‌ها برخی از خصوصیات نمونه‌ها مانند نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های اتصال‌دهنده‌ی براکت به بال ستون و هم‌چنین ضریب اصطکاک بین براکت با ستون و تیر، تغییر نموده است. تیر مدل مرجع از نوع تیر I شکل می‌باشد [3]. عمق تیر و نسبت دهانه به عمق تیر، در رفتار اتصالات تیر به ستون مهم است. تیرهای عمیق به تیرهایی گفته می‌شود که در آن‌ها نسبت دهانه به عمق تیر کم می‌باشد. این نسبت با توجه به طول دهانه، عمق تیر و نوع اتصال متفاوت می‌باشد. در اثر انحناهای ایجاد شده، تیرهای عمیق کرنش‌های بزرگ‌تری نسبت به تیرهای کوتاه تجربه می‌کنند. به‌طور مشابه، در تیرها با نسبت دهانه به عمق کم، شیب لنگر تندتری در سراسر دهانه‌ی تیر وجود دارد. نتیجه‌ی آن، کاهش طول تیر مشارکت نموده در مفصل پلاستیک، و افزایش کرنش‌ها تحت دوران‌های غیر الاستیک خواسته شده است [2]. لذا می‌توان در این مقاله نسبت دهانه به عمق کمتر از ۱۵ را تیر عمیق تعریف نمود. مشخصات هندسی براکت‌ها از آیین‌نامه‌ی AISC برداشت شده

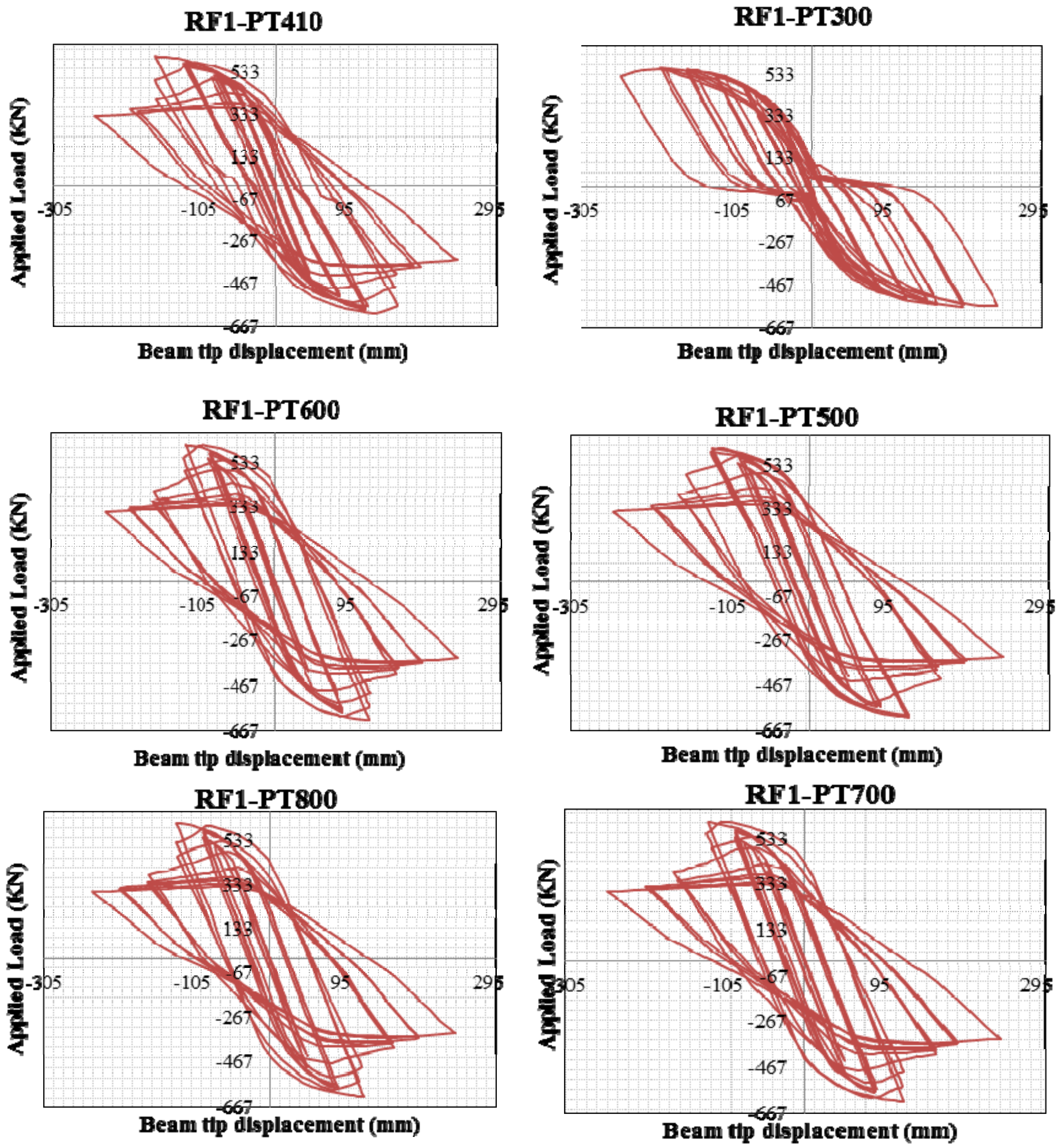
است [3]. خصوصیات هندسی پیچ‌ها و ضوابط پیش‌تنیدگی آن‌ها بر اساس ضوابط RCSC می‌باشد [8]. سایر مشخصات نمونه‌های مرجع در جدول (۲) آمده است. از آن‌جایی که براکت‌های مناسب برای تیرهای عمیق می‌تواند W2.1 و B2.1 باشد، به‌منظور درنظر گرفتن بحرانی‌ترین وضعیت برای اتصال، این براکت‌ها با بزرگ‌ترین تیری که قابل استفاده است به کار برده شده‌اند. هم‌چنین ماکزیمم ستون بال پهن قابل استفاده طبق ضوابط آیین‌نامه‌ی AISC-358 [3] مقطع W14x233 می‌باشد. چشمه‌ی اتصال از نوع چشمه اتصال قوی است و تیر و ستون انتخاب‌شده، ضوابط آیین‌نامه‌ی AISC را در خصوص نسبت تیر به ستون برآورده می‌نمایند [9]. هم‌چنین ستون ضوابط آیین‌نامه را در خصوص عدم استفاده از ورق‌های پیوستگی تأمین می‌کند [3]. مشخصات مدل‌ها، که در آن‌ها ضریب اصطکاک و نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های اتصال دهنده‌ی براکت به ستون، نسبت به مدل‌های مرجع تغییر کرده است در جدول (۳) آورده شده‌است. با افزایش نیروی پیش‌تنیدگی از مقدار Pinch نمودارهای هیسترزیس کاسته می‌شود، شکل (۹) این نمودارها را نشان می‌دهد.

جدول ۳ مشخصات نمونه‌های عددی مورد بررسی و ماکزیمم انرژی کل جذب شده‌ی نمونه‌ها

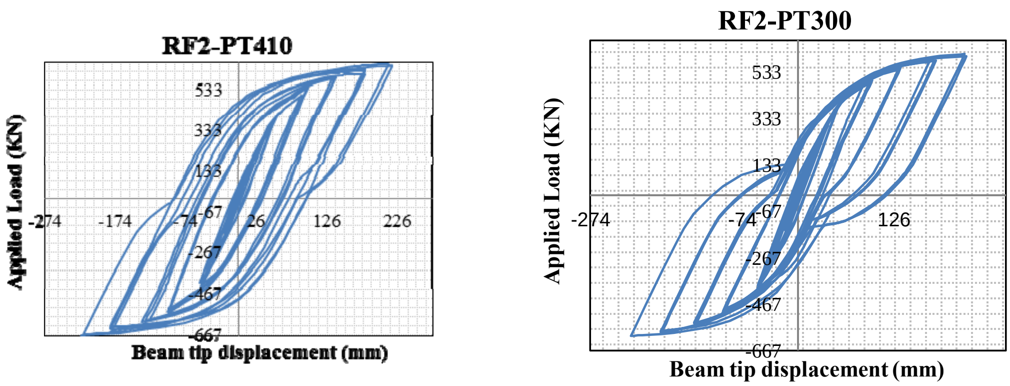
گروه	نمونه‌ها	نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های ستون (kN)	ضریب اصطکاک	ماکزیمم انرژی تجمعی جذب‌شده‌ی کل (kJ)
گروه مدل ۱	RF1-PT300	300	0.3	914
	RF1-PT410	410	0.3	1176
	RF1-PT500	500	0.3	1240
	RF1-PT600	600	0.3	1279
	RF1-PT700	700	0.3	1307
	RF1-PT800	800	0.3	1385
	RF1-N.Shims	500	0.3	1380
	RF1-U.Shims	500	0.3	1376
	RF1-Fric0.25	450	0.25	1185
	RF1-Fric0.40	450	0.40	1224
گروه مدل ۲	RF2-PT300	300	0.3	1202
	RF2-PT410	410	0.3	1620
	RF2-PT500	500	0.3	1711
	RF2-PT600	600	0.3	2002
	RF2-PT700	700	0.3	2065
	RF2-PT800	800	0.3	2088
	RF2-N.Shims	500	0.3	1841
	RF2-U.Shims	500	0.3	1839
	RF2-Fric0.30	450	0.3	1650
	RF2-Fric0.45	450	0.45	1641

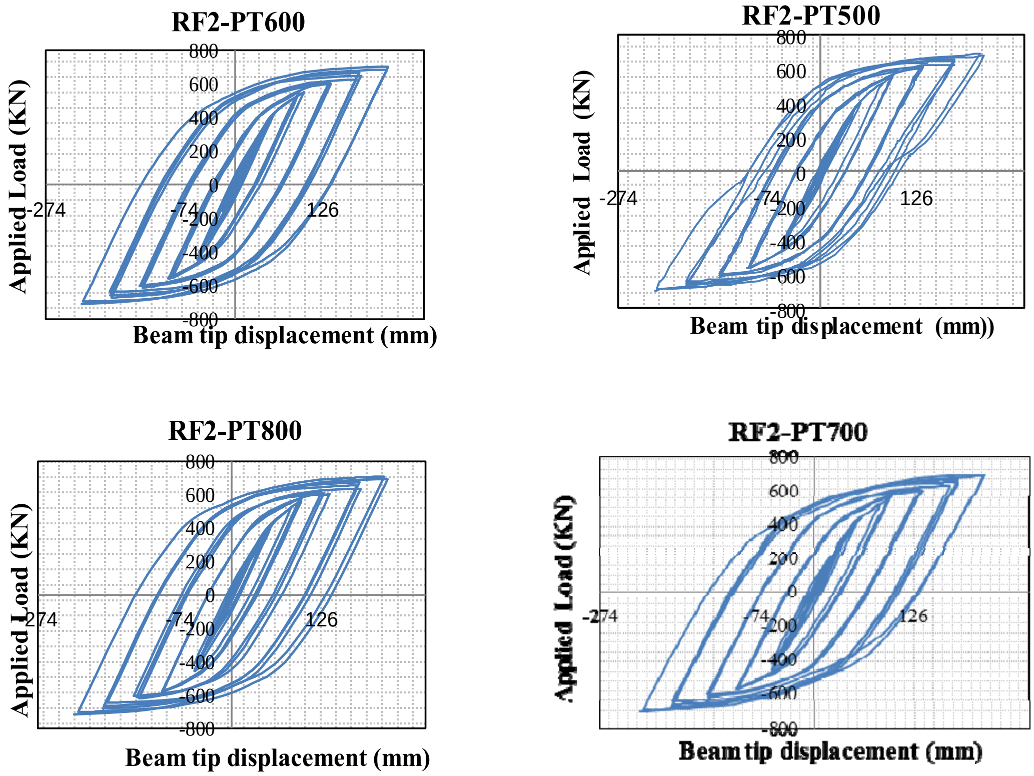
RF1,2-N.Shims: مدل مرجع ۱،۲ بدون واشر انگشتی.

RF1,2-U.Shims: مدل مرجع ۱،۲ دارای واشر انگشتی با ضخامت ثابت.



(الف) منحنی‌های هیسترزیس نمونه‌های عددی، گروه مدل ۱



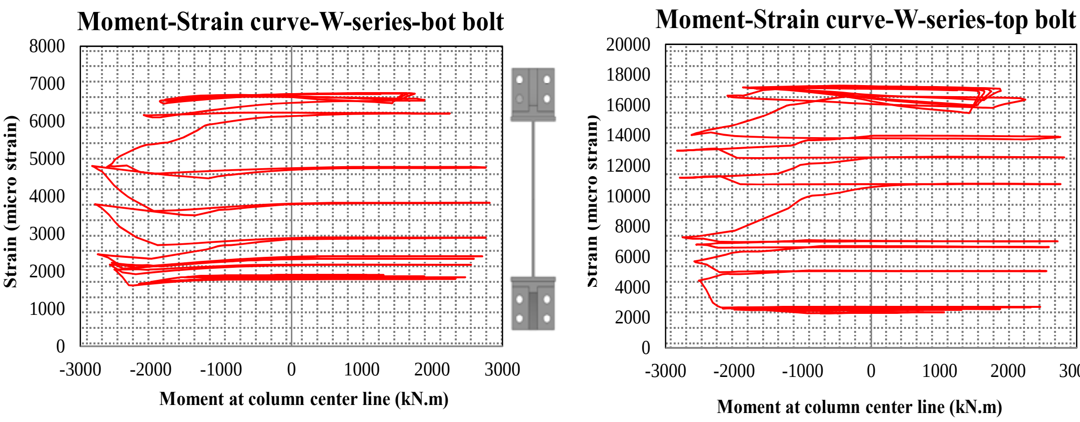


(ب) منحنی‌های هیسترزیس نمونه‌های عددی، گروه مدل ۲

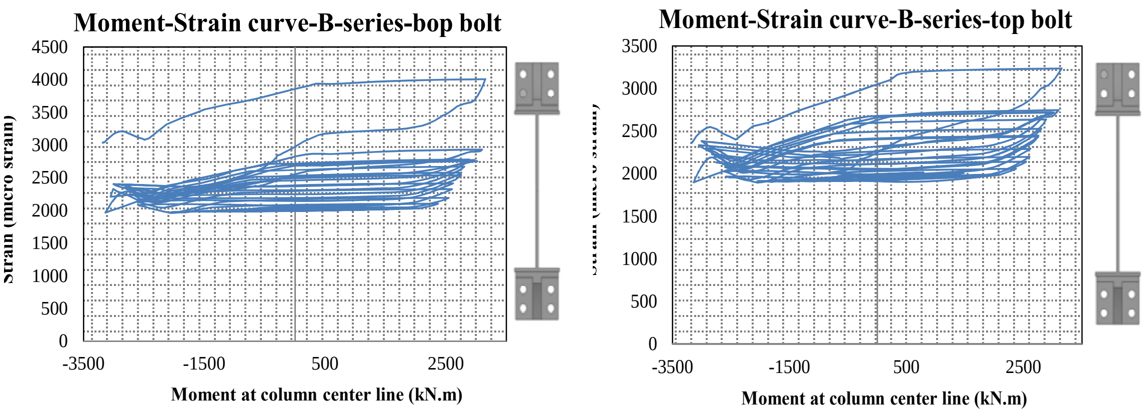
شکل ۹ منحنی‌های هیسترزیس انتهای تیر نمونه‌های عددی با نیروهای پیش‌تنیدگی متفاوت

نیروی اهرمی ایجادشده در پیچ‌های ردیف بالا سبب کاهش پیش‌تنیدگی پیچ‌های اتصال‌دهنده‌ی براکت به بال ستون می‌گردد که این موضوع اثر وقوع Pinch را تشدید می‌نماید (شکل (۱۰) را ببینید). شکل (۱۱) تفاوت جذب انرژی کل، در اتصال را برای مقادیر متفاوت پیش‌تنیدگی نشان می‌دهد. با افزایش نیروی پیش‌تنیدگی تا حداکثر مقدار الاستیک می‌توان افزایش جذب انرژی را افزایش داد. به‌گونه‌ای که با افزایش نیروی پیش‌تنیدگی افزایش اتلاف انرژی از kJ ۹۲۰ تا kJ ۱۳۰۶ برای اتصال سری W، و از kJ ۱۲۱۰ تا kJ ۲۱۰۰ برای اتصال سری B تغییر می‌کند. از نتایج به‌دست آمده می‌توان به‌راحتی دریافت که اتصال KBB سری B از توانایی بیشتری در جذب انرژی نسبت به اتصال سری W برخوردار است. این مقدار برای حداقل پیش‌تنیدگی مجاز آیین‌نامه در حدود ٪۳۸ می‌باشد. شاید یکی از دلایل آن اتلاف انرژی در اتصال سری B به‌دلیل وجود پیچ‌های بیشتر است. نمودار حساسیت اتصال، نسبت به نیروی پیش در شکل (۱۲) نشان داده شده است. با افزایش پیش‌تنیدگی انرژی تلف شده افزایش می‌یابد. اتلاف انرژی ناشی از اصطکاک در محدوده‌ی پیش‌تنیدگی مجاز آیین‌نامه حداکثر است. این موضوع می‌تواند یکی از مواردی باشد که جذب انرژی را در اتصال افزایش می‌دهد. این تفاوت به‌خوبی در نمودار شکل (۱۲) مشهود است. همان‌طور که نمودارهای هیسترزیس انتهای تیر نمونه‌ها در شکل (۱۳) مشخص است، این اتصال عملکرد لرزه‌ای مناسبی در حوزه‌ی نزدیک گسل دارد. میزان افت چرخه‌ی هیسترزیس اتصال با توجه به تغییرمکان قابل‌ملاحظه‌ای که اتصال تحمل می‌کند در محدوده‌ی قابل‌قبولی قرار دارد (کمتر از ٪۲۰). عملکرد لرزه‌ای

نزدیک گسل این اتصال در اولین نیمه‌ی بارگذاری آن، که مشابه بارگذاری یکنواخت (monotonic) است [10,11]، مناسب می‌باشد و بر طبق معیار گسیختگی Vonmises در تیر و براکت‌ها گسیختگی اتفاق نمی‌افتد. در این اتصال استفاده از واشر انگشتی گوه‌ای نیروی پیش‌تنیدگی را کاهش می‌دهد. به‌گونه‌ای که با کاهش نیروی پیش‌تنیدگی اثر کاهش دهنده‌ی واشر گوه‌ای افزایش می‌یابد. نمونه‌ای از واشر گوه‌ای استفاده شده در شکل (١٤) قابل مشاهده است. میزان افت نیروی پیش‌تنیدگی ناشی از واشر انگشتی گوه‌ای با توجه به نیروی پیش‌تنیدگی از ١٠٪ تا ٢٠٪ متفاوت است. همان‌طور که شکل (١٥) نشان می‌دهد، عملکرد لرزه‌ای این اتصال تحت بارگذاری چرخه‌ای با افزایش نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها و هم‌چنین حذف و یا استفاده از واشر انگشتی غیرگوه‌ای بهبود می‌یابد.

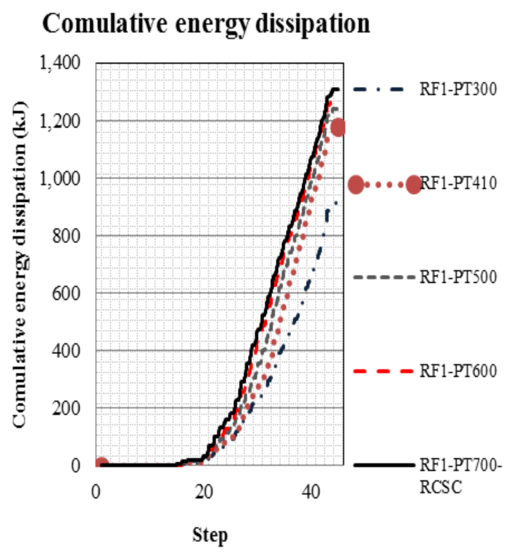


(الف) منحنی‌های کرنش- لنگر، پیچ‌های اتصال مدل مرجع ١

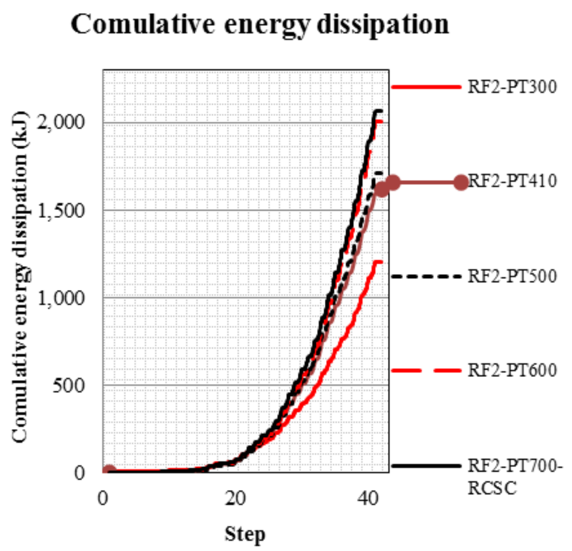


(ب) منحنی‌های کرنش- لنگر، پیچ‌های اتصال، مدل مرجع ٢

شکل ١٠ منحنی‌های کرنش- لنگر، پیچ‌های اتصالات مدل‌های مرجع١و٢

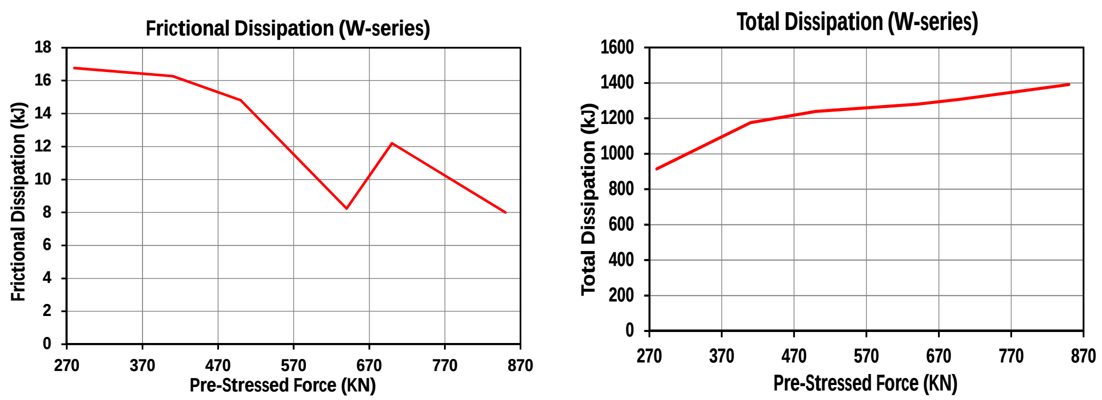


(الف) نمودارهای جذب انرژی مدل‌های گروه ۱

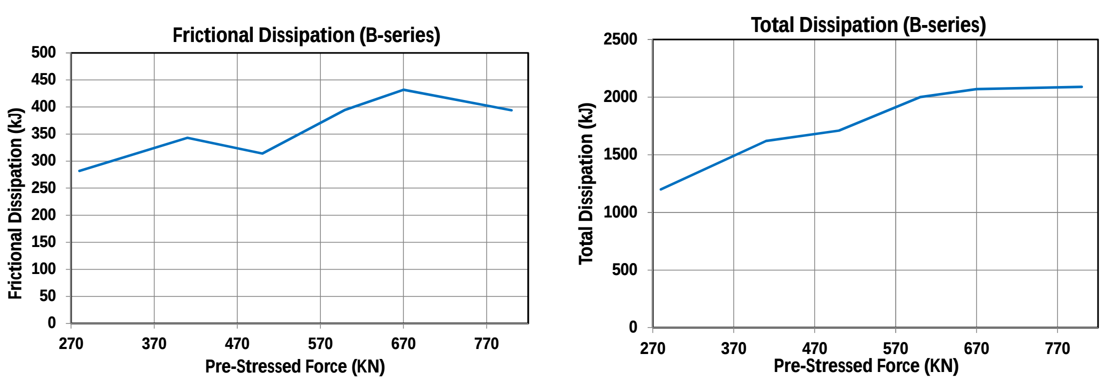


(ب) نمودارهای جذب انرژی مدل‌های گروه ۲

شکل ۱۱ نمودارهای جذب انرژی تجمعی کل برای مقادیر متفاوت پیش‌تنیدگی، نمونه‌های عددی

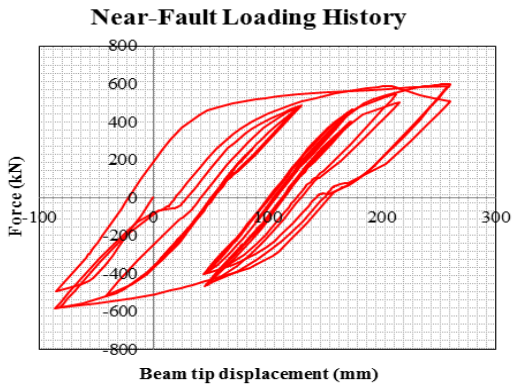


(الف) نمودار حساسیت اتصال نسبت به نیروی پیش‌تنیدگی برای اتصال سری-W

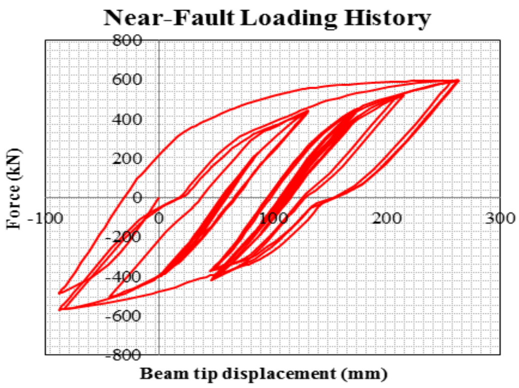


(ب) نمودار حساسیت اتصال نسبت به نیروی پیش‌تنیدگی برای اتصال سری-B

شکل ۱۲ نمودار حساسیت به میزان نیروی پیش‌تنیدگی اتصال

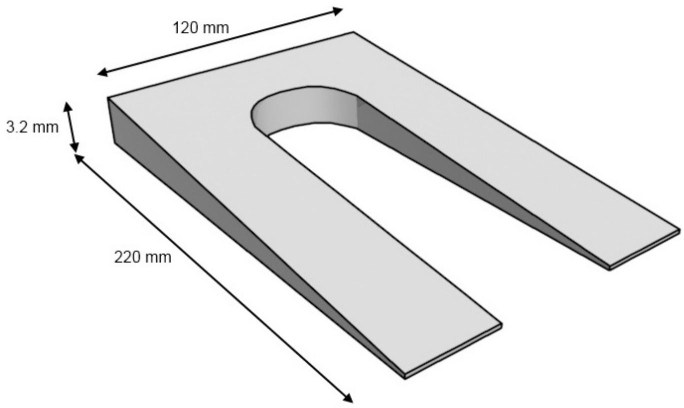


(الف) منحنی هیسترزیس نزدیک گسل مدل مرجع ۱

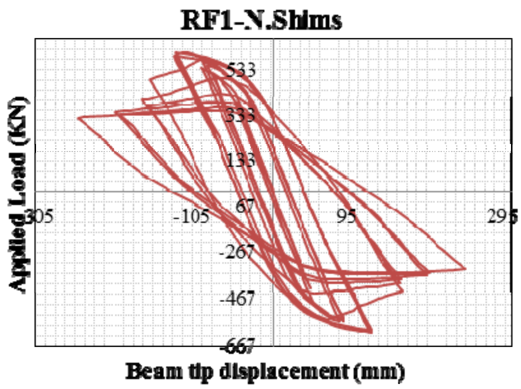


(ب) منحنی هیسترزیس نزدیک گسل مدل مرجع ۲

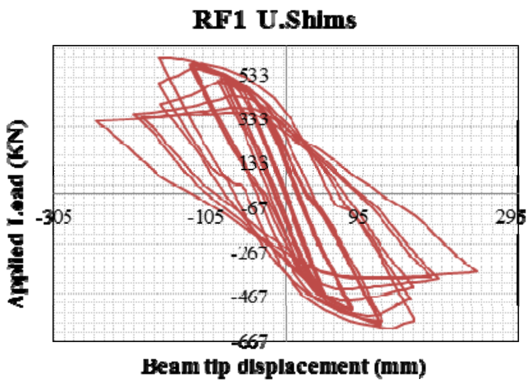
شکل ۱۳ منحنی‌های هیسترزیس انتهای تیر مدل‌های مرجع، تحت بارگذاری نزدیک گسل



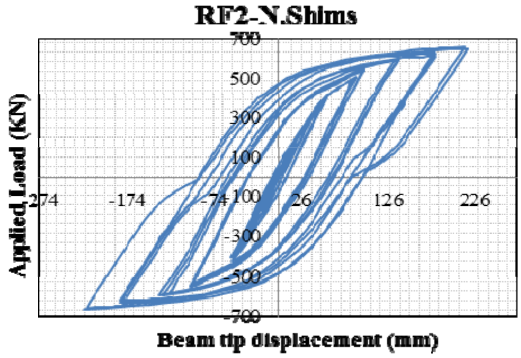
شکل ۱٤ نمونه‌ای از واشر انگشتی گوه‌ای



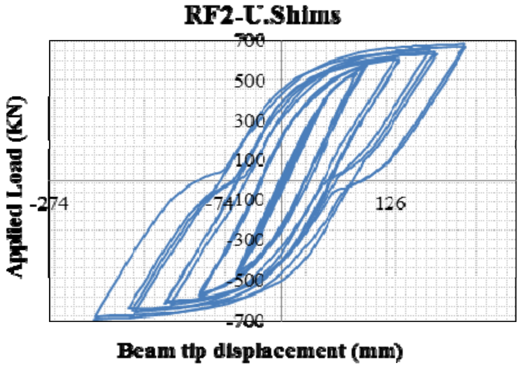
(الف) منحنی هیسترزیس مدل مرجع ۱ بدون واشر انگشتی



(ب) منحنی هیسترزیس مدل مرجع ۱ دارای واشر انگشتی با ضخامت ثابت

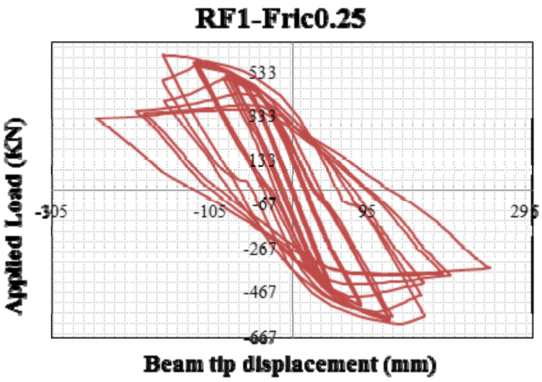


(ج) منحنی هیسترزیس مدل مرجع ۲ بدون واشر انگشتی

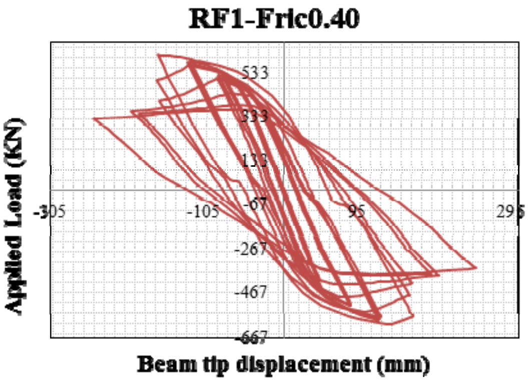


(د) منحنی هیسترزیس مدل مرجع ۲ دارای واشر انگشتی با ضخامت ثابت

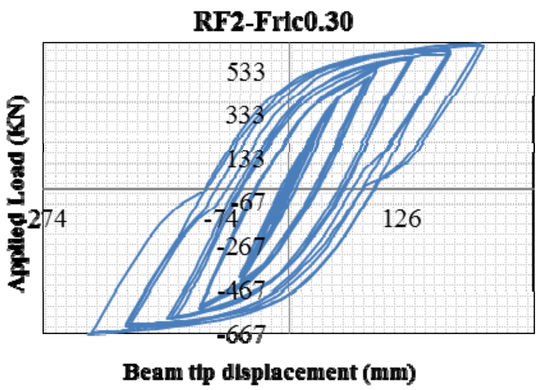
شکل ۱۵ اثر واشر انگشتی بر منحنی‌های هیسترزیس نمونه‌های عددی



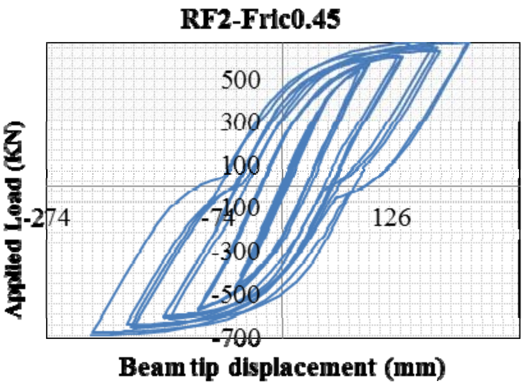
(الف) مدل مرجع ۱ با ضریب اصطکاک ۰/۲۵



(ب) مدل مرجع ۱ با ضریب اصطکاک ۰/۴۰



(ج) مدل مرجع ۲ با ضریب اصطکاک ۰/۳۰

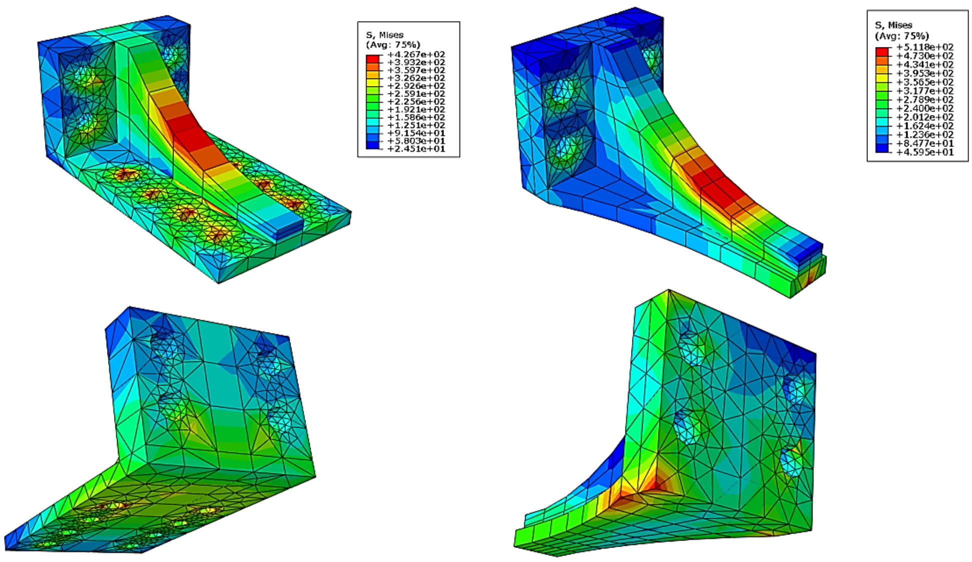


(د) مدل مرجع ۲ با ضریب اصطکاک ۰/۴۵

شکل ۱۷ اثر تغییر ضریب اصطکاک در منحنی هیسترزیس نمونه‌ها

برای بررسی اثر اصطکاک در میزان جذب انرژی و تغییر میزان Pinch در نمودار هیسترزیس، ضریب اصطکاک در نمونه‌ی سری W از 0.25 تا 0.40 و برای اتصال سری B از 0.3 تا 0.45 تغییر داده شد. با افزایش ضریب اصطکاک جذب انرژی کل اتصال سری W تقریباً ثابت مانده ولی جذب انرژی کل اتصال سری B اندکی افزایش داشته است (چیزی در حدود ٪۱۲). این موضوع می‌تواند به‌دلیل افزایش تغییر شکل پلاستیک تیر، در محل مفصل به‌علت کاهش لغزش براکت‌ها در بال تیر باشد. شکل (١٦)، تفاوت در جذب انرژی را برای هر دو سری اتصال نشان می‌دهد. همان‌گونه که شکل (۱۷) نشان می‌دهد، افزایش ضریب اصطکاک تأثیر چندانی در میزان Pinch نمودارهای هیسترزیس نمونه‌ها نداشته است.

در این اتصال بیشترین مقدار تنش در محل تیغه‌ی براکت و پاشنه‌ی آن ایجاد می‌گردد (شکل ۱۸). در تمامی بررسی‌های صورت گرفته ورق پشتی براکت که در محل تماس با ستون قرار دارد و صفحه‌ی زیر سخت‌کننده دارای تنش کمی می‌باشند که نشان‌دهنده‌ی دست بالا بودن برخی از اجزای براکت می‌باشد. این تنش‌ها در تمام طول بارگذاری حدود ۸۰ الی ۱۵۰ مگاپاسکال تا تنش تسلیم فاصله دارند. در طول فرآیند آزمایش تیغه‌ی براکت وارد مرحله‌ی پلاستیک می‌گردد. این پلاستیسیته شدن در عملکرد اتصال تأثیرگذار نمی‌باشد. در تمامی مدل‌های مورد بررسی تحت بارگذاری چرخه‌ای استاندارد و بارگذاری چرخه‌ای نزدیک گسل، هیچ یک از اجزای براکت دچار گسیختگی نگردیدند. از این‌رو این اتصال به‌علت تأمین گیرداری کافی و حذف جوشکاری در کارگاه اتصال مناسبی برای سازه‌های بلند می‌باشد. هم‌چنین این اتصال می‌تواند به‌عنوان یک اتصال مناسب برای قاب خمشی ویژه SMRF در منطقه‌ی نزدیک گسل به‌کار برده شود.



(الف) کانتور تنش ون میسز در مدل مرجع ۱

(ب) کانتور تنش ون میسز در مدل مرجع ۲

شکل ۱۸ توزیع تنش ون میسز در مدل‌های مرجع

نتیجه‌گیری

در ایـن تحقیـق پـس از مـدل‌سـازی عـددی و سـپس مقایسه‌ی آن با نتایج آزمایشـگاهی، بـه بررسـی رفتـار لرزه‌ای اتصال خمشی KBB تحت بارگذاری چرخه‌ای استاندارد و نزدیـک گسـل پرداختـه شـد. و برخـی از عوامل دخیل در وقوع Pinch در نمودار هیسـترزیس و جذب انرژی این نوع اتصال مورد بررسی قرار گرفـت، که نتایج زیر را در پی داشت.

۱- عملکرد لـرزه‌ای ایـن اتصـال در منطقـه نزدیـک گسل، قابل‌قبول می‌باشد. از این‌رو اتصال خمشی کایزر اتصال مناسبی برای استفاده در سیستم قاب خمشی ویژه (SMRF) در منـاطق نزدیـک گسـل می‌باشد.

۲- برای تیرهای عمیق به‌علت زیـاد بـودن ارتفـاع و صلبیت بالای براکت‌ها، نیروی اهرمـی بـه‌وجـود آمده زیاد است کـه ایـن موضـوع سـبب کـاهش نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های ردیف بـالای براکـت در محل اتصال به ستون می‌گردد.

۳- اسـتفاده از واشـر انگشـتی گـوه‌ای (Tapered Wedge Shims) وقـوع اثـر Pinch را تشـدید مـی‌کنـد و سـبب کـاهش ٪۲۰-۱۰ نیـروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های اتصال دهنده‌ی براکت به بال ستون می‌گردد.

٤- جذب انرژی اتصال KBB سری B بیش از اتصال سـری W اسـت. هـم‌چنـین بـا افـزایش نیـروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها تا حداکثر مقدار الاسـتیک آن، علاوه بر افزایش قابلیت جذب انرژی در اتصـال، اثر Pinch در نمودار هیسترزیس این نوع اتصـال کاهش می‌یابد.

۵- با افزایش ضریب اصطکاک بین سطوح براکت بـا بال تیر و بال ستون، در اتصـال KBB سـری W جذب انرژی کل تغییر چندانی نمی‌کند. در حالی که با افزایش ضریب اصطکاک جذب انرژی کـل اتصـال KBB سـری B در حـدود ٪۱۲ افـزایش می‌یابد. هم‌چنین افزایش ضریب اصـطکاک تـأثیر چنـدانی در میـزان Pinch نمـودار هیسـترزیس نمونه‌ها نداشته است.

٦- طراحـی براکـت‌هـای اتصـال KBB انـدکی محافظه‌کارانـه اسـت زیـرا تـنش ایجـاد شـده در قسمت‌های بالایی صـفحه‌ی انتهـایی و صـفحه‌ی زیـر سـخت‌کننـده در تمـامی مـدت بارگـذاری فاصله‌ی زیادی با تنش تسلیم دارد (در حدود ۸۰ الی ۱۵۰ مگاپاسکال).

مراجع

1. Scott M. Adan, William Gibb, "Experimental Evaluation of Kaiser Bolted Bracket Steel Moment-Resisting Connections", *Engineering Journal*, third quarter, pp. 181-196, (2009).
2. ANSI/AISC 358-10S11, "Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications", *ANSI/AISC*, Chicago, (2011).
3. Scott M. Adan, William Gibb. "Test Report 98-05-Specimen HH-8", *ICF Kaiser Engineers*, January 20, (1998).
4. ABAQUS version 6.10.1, "Manual of ABAQUS version 6.10.1", *Hibbit Carlson & Sorensen Inc*, (2010).
5. AISC, "Manual of steel construction-Load and resistance factor design", *American Institute of Steel Construction*, Chicago (IL), (1995).

6. ATC-24, "Guidelines for cyclic seismic testing of components of steel structures", *Applied techology council*, (1992).
7. FEMA-355D, "State of the art report on connection performance", *Federal Emergency Management Agency*, September, (2000).
8. RCSC, "Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts", *Research Council on Structural Connections*, December, (2009).
9. ANSI/AISC 360-05, "Specification for Structural Steel Buildings", *American Institute of Steel Construction*, Chicago, March, (2005).
10. SAC/BD-97/02 Version 1.1, "Protocol for Fabrication, Inspection, Testing, and Documentation of Beam-Column Connection Tests and Other Experimental Specimens", *SAC report*, (2002).
11. H. Krawinkler, A. Gupta, R. Medina, N. Luco, "Development of Loading Histories for Testing of Steel Beam-to-Column Assemblies", *SAC report*, August, (2000).